

## 大気球を利用した微小重力燃焼実験

石川毅彦, ○菊池政雄 (ISAS/JAXA), 山本信 (株IHIエスキューブ),  
澤井秀次郎, 丸祐介, 橋本樹明, 坂井真一郎, 坂東信尚, 清水成人  
(ISAS/JAXA), 小林弘明 (ARD/JAXA), 吉光徹雄, 菅勇志, 田崎彩  
(ISAS/JAXA), 福山誠二郎 (株AES), 岡田純平, 依田眞一,  
福家英之, 梯友哉 (ISAS/JAXA)

### 1. 目的

本研究ではターンアラウンドタイムが短くかつ良好な G 環境が得られる手段として気球を利用した微小重力実験システムの構築を行っている。本書では、実験システムおよび最初の実験として行う燃焼実験の最新状況について報告する。

### 2. 実験システム概要

平成 16 年度から 21 年度にかけて学術創成研究費によって微小重力実験システム (BOV) の構築が進められた (代表研究者: JAXA 宇宙科学研究本部宇宙探査工学研究系橋本教授) [1]。この実験システムでは、落下させる供試体を二重カプセル構造とし、内側のカプセルと外側のカプセルを非接触状態に保つドラッグフリー制御を行うことによって最良の G 環境を得る構成を用いた。2 回の放球実験によって  $10^{-4}G$  レベルの微小重力環境が 30 秒程度維持され、新たな実験手段として活用できることが示されている。ただし、このシステムでは微小重力実験装置が利用できる内カプセルは直径 30cm 程度の球であり、この中に電源・実験制御系を含めたすべてを納める必要があった。今後、観測機器を初めとする微小重力実験装置要素の小型化を進めれば、このスペースで実施可能な実験も増加すると考えられるが、航空機・落下塔用装置の流用など実験者のアクセスの容易性を考えると、より多くのスペースが必要となると考えられた。

本研究では学術創成研究の成果 (機体設計等) を継承し、これを発展させることにより新しい実験システムの確立を行う。新システムの特徴は

- 1) 落下させる機体は、学術創成研究同様の形状とする。
- 2) 3 軸のドラッグフリー制御は行わず、微小重力実験部のスペースを増大させる。
- 3) リニアスライダーにより鉛直方向のみドラッグフリー制御を適用し、 $10^{-3}G \sim 10^{-4}G$  の微小重力環境を 30 秒程度確保する。

というものである (図 1 参照)。

### 3. 液滴燃焼実験

新実験システム (iBOV) を利用する最初の実験として燃焼研究分野の「液滴列の火炎伝播挙動の観察実験」を実施する。ISS 科学プロジェクト室では、液滴を直線上に等間隔配置した燃料液滴列の火炎伝播メカニズム解明研究 (図 2 参照) を理論検討・数値シミュレーション・微小重力実験を用いて実施している。

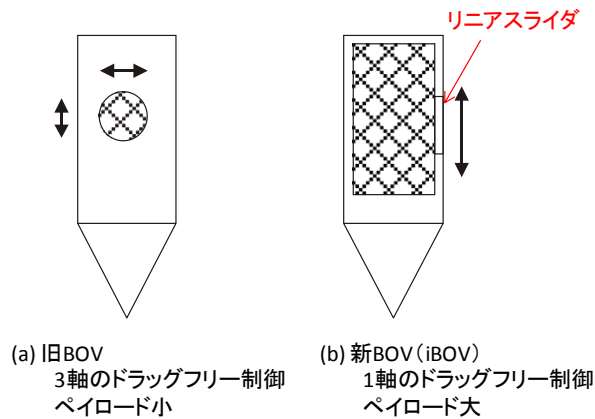


図1 新実験システムの概要。ハッチ部が微小重力実験部、それを囲む長方形が機体断面 (Ambient temperature  $T$ )

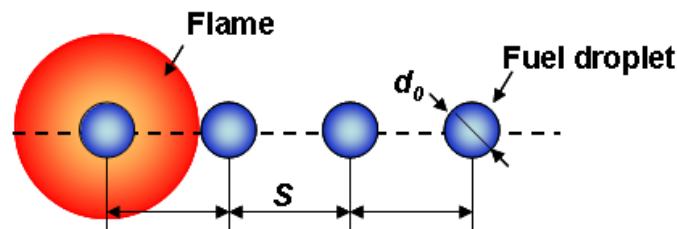


図2 液滴間火炎伝播メカニズム研究における液滴列モデル：液滴径  $d_0$ 、液滴間隔  $S$  及び雰囲気温度  $T$  を実験パラメータとする。

落下塔を利用したこれらの短時間微小重力実験の結果を基にして、ESAのTEXUSロケットを利用した微小重力実験を2009年11月に実施した。この実験では、予蒸発進行度の誤差低減および現象の観察を容易にするために初期直径の比較的大きな液滴 ( $d_0 = 1.5 \text{ mm}$ ) を用い、予蒸発時間 ( $t_w$ ) をパラメータとした3回の燃焼実験を行った。

$t_w$  に対してTEXUSロケットや落下塔実験の結果得られた火炎燃え広がり速度  $V_f$  の変化を表1に示す。これによれば、液滴列に沿った  $V_f$  は、予蒸発の進行に伴う液滴列周囲の可燃混合気層の発達に伴い急激に大きくなるが、予蒸発が一定以上進行した場合はほぼ一定値をとることが示唆される。ここで着目されるのは、 $t_w = 0.1 \text{ s}$  から  $5 \text{ s}$  の間に  $V_f$  が100倍以上の値となっていることである。これらの結果から、液滴の僅かな予蒸発が燃え広がり速度に非常に大きな影響を与えることが分かる。落下塔実験では、数秒の微小重力時間中に燃焼現象の観察を行うために、予蒸発を促進する目的で比較的小さい液滴を使用している。そのため、生成された燃料液滴径のばらつきが比較的大きく、燃え広がり速度の実験誤差も比較的大きくなってしまふ。

表1 落下塔実験およびTEXUSロケット実験で得られた火炎燃え広がり速度

実験 No.	$t_w$ (s)	$V_f$ (mm/s)
TEXUS #1	18	1714
TEXUS #2	10	1714
TEXUS #3	5	1286
落下塔実験	0.1	11

そこで、大気球を利用する本実験においては、TEXUS ロケット実験と同じ  $d_0 = 1.5\text{mm}$  の比較的大きな液滴を用いつつ、落下塔実験で実施可能な  $t_w$  と TEXUS ロケット実験で取得された条件で最小の  $t_w$  である 5s の中間域の  $t_w$  を実験条件とした実験を行い、 $V_f$  に関する高精度データの取得を行う。

#### 4. 実験装置の製作および実験準備

学術創成研究で製作した供試体の資産を極力活かすべく、学術創成研究の代表研究者及び開発を担当された方の協力を得て、平成 24 年夏の放球に向けた機体 (iBOV) および搭載実験装置の準備を行った。機体は、学術創成研究で製作した実験機体を基本として、これをアップグレードした機体を製作した。また、一昨年の気球実験において喪失された電気系を新規製作した。以前の機体からの主な変更点は

- ・ 微小重力実験部と機体をリニアスライダで結合する。
- ・ 大型の微小重力実験部へのアクセスパネルの追加。
- ・ 1 軸のドラッグフリー制御とするため、ガスジェットの簡素化。

である。機体の全景写真を図 3 に示す。



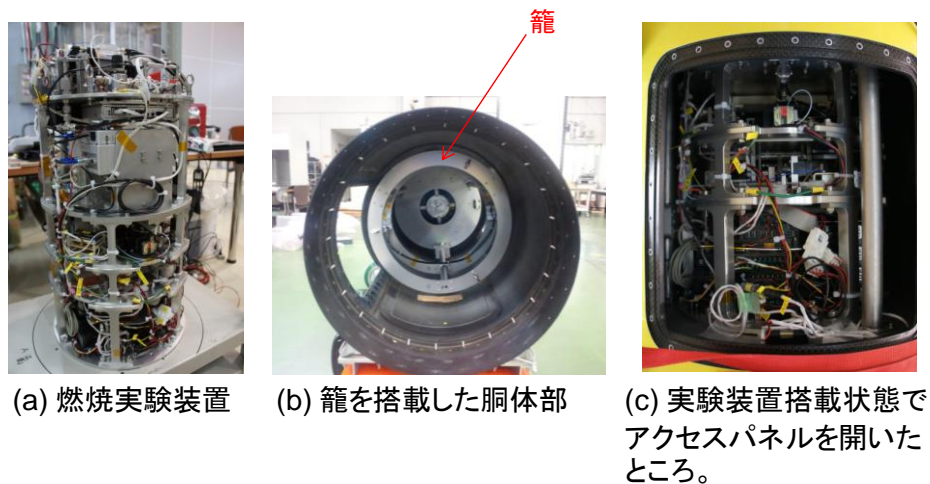
図 3 実験機体 (iBOV) の全景

燃焼実験装置は、TEXUS ロケット実験用に製作した実験装置の EM をベースに改修製作した。主な変更点は

- ・ 燃焼容器内部加熱等に使用するためのバッテリーの搭載 (TEXUS ロケット実験においては、ロケット側の所掌だった)
- ・ 実験装置の制御装置の搭載 (同上)
- ・ 燃焼現象を観察するカメラ類の更新

である。

実験装置は、機体とリニアスライダで結合されている“籠”と呼ばれる部材に収納固定される。籠と実験装置が一体となり、機体胴体内部を機軸方向に滑らかに移動可能となっている。燃焼実験装置、籠を搭載した胴体内部、実験装置搭載状態でアクセスパネルを開いたところの写真を図 4 (a)、(b)、(c) にそれぞれ示す。



**図4 燃焼実験装置等の写真**

実験機体と燃焼実験装置は、単体試験の後に JAXA 相模原キャンパスにて各種の噛み合わせ試験（機能試験、衝撃試験、低温試験など）を行った後、平成24年8月中旬に北海道大樹町の大気球実験場に輸送された。実験チームは8月17日に大樹町入りし、輸送後機能試験、機体と燃焼実験装置の最終インテグレーションおよび試験等の実験準備を行った。射場作業は大きな不具合もなく順調に進み、8月25日には機体を放球台に設置し、最終噛み合わせ試験を行った。放球台に設置された機体の写真を図5に示す。



**図5 放球台に設置された機体**

8月27日早朝の放球に向けた機体の準備は全て整ったが、前日（26日）の天候判断の結果、放球は見送りとなった。高層の風の状態が悪く、放球条件を満たさないのが理由であった。風の状態は、約1週間後に回復する可能性もあったため、機体を放球台に設置したままで待機させ、実験チームもいったん大樹町を撤収した。しかしながら、天候条件回復の見込みが立たず、9月3日に今季の実験中止が正式に決定された。このため、実験チームの数名が再度大樹町入りし、放球台からの機体取外し、相模原および筑波への機材輸送準備等の撤収作業を9月4日、5日に行った。

今季は残念な結果となったが、今回の射場作業で得られた知見やノウハウも活かしつつ、来季の実験実施に向けた準備を今後着実に進めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] 橋本樹明ほか：高々度気球を用いた微小重力実験システムの開発、日本マイクログラフィティ応用学会誌 **26**(2009), 9